

氷の単結晶の製作について

杉 森 正 義* ・ 各 務 頼 文**

今 村 隆 一*** ・ 天 谷 寛 之****

On the Techniques about Preparation of Single Crystals of Ice

Masayoshi SUGIMORI, Yorifumi KAGAMI,
Takakazu IMAMURA Hiroyuki AMAYA

(Received Sept. 30, 1966)

Some experimental techniques of preparing single crystals of ice are reported. The single crystals of ice are grown in the cylindrical water vessel, 12.5cm in diameter and 43cm in depth, with the grow rate of about 1.5 cm/day. A crystal, 2cm \times 2cm in cross section and 7cm long, has been obtained. When a glass tube with two throats was inserted vertically in the water vessel, a rod of single crystal, 3cm in diameter and 5cm in length, was obtained in the tube.

1 緒 言

一般に氷は天然のものも人造のものも、みな小さな結晶の集合体であることは、クロストニコルの状態においた偏光板の間に氷を置いて調べることによって判明する。ところがアラスカの氷河（マラスピーナ氷河，メンデンホール氷河）には非常に大きな氷の単結晶があるといわれる。これらの氷河の調査と，大きな単結晶の生成条件についての考察は東らによってなされている¹⁾。メンデンホール氷河の末端が流れ入る小さな湖に浮ぶ大きな氷の単結晶を，アメリカシカゴのSIPREに運んできて貯蔵し，それを使っての氷の力学的性質のきわめて詳細な研究が中谷によって行なわれて報告されている^{2) 3) 4) 5) 6) 7)}。人工的に大きな氷の単結晶を作ることは非常に困難であっていろいろ試みられている。それについては若浜の報告がある⁸⁾。

われわれは本学内に低温実験室が設置*されたのを機会に，ある程度の大きさをもった氷の単結晶を比較的容易に得るために，つぎに述べるような装置を使って実験をした。以下速報の意味でその実験方法の概略

を述べることにする。

* 昭和39年度文部省科学研究費（特定研究：災害科学；研究代表者北大吉田順五教授）によって設置された。

2 装置および方法

装置の概略を図1，写真1，写真2に示す。内径12.5cm，長さ43cmの塩化ビニール製パイプに底をつけて氷結槽とし，水を満たす。この外側を約1cmの厚さに石綿でおおい，その上に1cmのピッチでニクロム線をらせん状に巻きつけて，さらにそのまわりを約1cmの厚さに石綿でおおった。ニクロム線からは1ピッチごとにタップを石綿の外に取り出した。ニクロム線には適当な値の電流を流して氷結槽内の水温を調節し，さらに上下の方向に温度勾配を与えるためにタップの位置を順ぐりに下へ移していく。氷結槽内に図2に示すようなガラス管を立てて，この中に目ざす単結晶を作る。氷結槽の全体を低温室に入れ，室内温度を -10°C に保っておくと，氷結槽内の水は上方から氷結していく。氷結する際，体積ばうちょう分の水を，氷結槽の底からビニールホースで低温室の側壁を

*助手 **教授 ***教務員 ****学生（現福井精練加工KK）

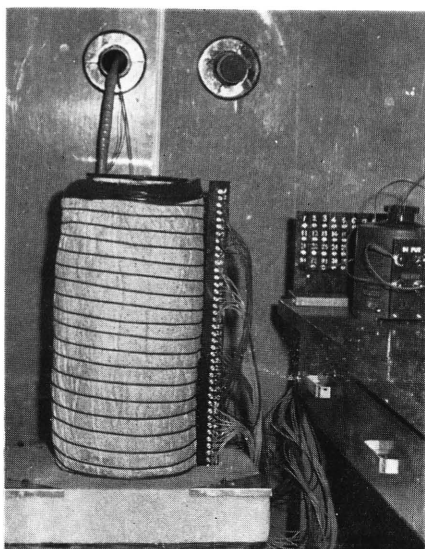


写真1 氷結槽

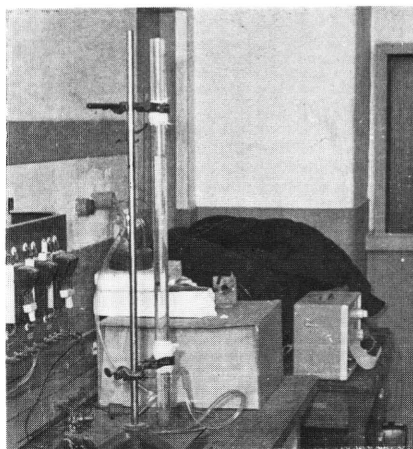
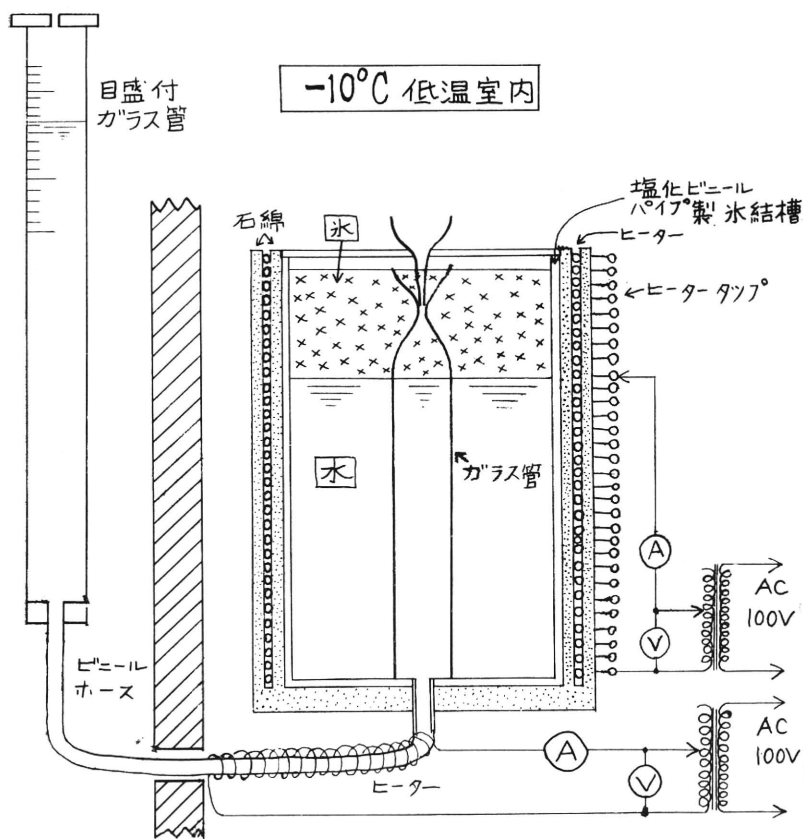
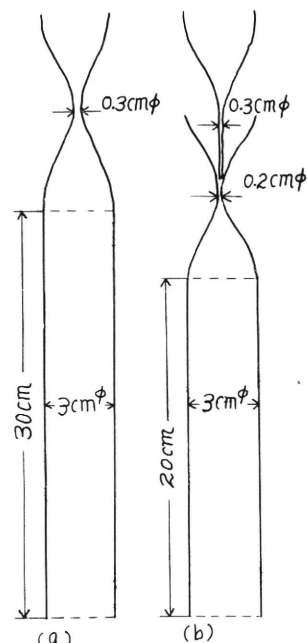
写真2 水量補償ガラス管, 管内の水位
によって水の厚みを測る。

図1 氷結槽概略図

図2 氷結槽内で単結晶を
成長させるためのガ
ラス管(a)くびれ一つ
(b)くびれ二つ

通して取り出し、内径3cm、長さ1mのガラス管の中に導き入れた。あらかじめガラス管に目盛をつけておけば、管内の水位の上昇から氷結槽内にできた氷の厚さを知ることができる。

沸騰させて気泡をとりのぞいた蒸留水を氷結槽の中で、その水位がガラス管のくびれの部分より少し上になるまで入れて放置する。水温が 0°C 付近になったところでニクロム線に 0.2A の電流を流す。この電流の値は氷結槽内を周囲温度より 10°C 高くしておくために、つぎのようにして推定した。 θ を氷結槽内の水温($^{\circ}\text{C}$)、 θ_0 を周囲温度($^{\circ}\text{C}$)、 S を氷結槽の表面積(cm^2)、 K を氷結槽の熱放散係数($\text{cal/deg}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}$)、 M を氷結槽内の水の量(g)、 C を水の比熱($\text{dal/deg}\cdot\text{g}$)、 I をヒーターに流す電流(ampere)、 V をヒーターにかかる電圧(volt)とし、 dt 時間の間の温度変化を $d\theta$ とすると、近似的に

$$\frac{IV}{J} dt - SK(\theta - \theta_0) dt = MC d\theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

がなりたつ。(1)の定常状態における解は

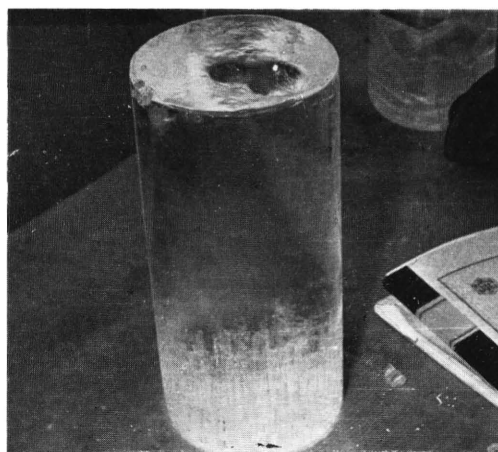
$$\theta = \frac{IV}{JSK} + \theta_0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

となるから、あらかじめ、ヒーターに任意の電流電圧を与えたときの定常状態における水温を測定し、式(2)から S を知って K を求めておけばよい。本実験に用いた氷結槽においては、 $K = 3.5 \times 10^{-2} \text{cal/deg}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}$ であった。氷結槽の熱放散は側面では一様であり、またヒーターのニクロム線も一様に巻いてあるので、一定電流が流れているヒーターの上端の部分では、一定の速さで水が氷結するものと考えられる。従ってヒーターに流す電流が常時 0.2A であるようにスライダックで加減しながらヒータータップの位置を1日に1~2この割合で下げていき、氷を 1.5cm/日 の割合で成長させた。

単結晶の判定には、偏光板を用いる光弾性ビューアーで行なった。結晶の軸方向の決定には、Formvar液を用いる腐食法⁹⁾があるが、Formvar液が入手できなかったので、上記の光弾性ビューアーで結晶の軸像を作ることによって行なった。

3 結果と結言

実験は氷結槽内に、(1)ガラス管を入れない場合、(2)図2(a)のような一つのくびれを持つガラス管を入れた場合、(3)図2(b)のような二つのくびれを持つガラス管を入れた場合について行なった。(1)の場合にできた氷結槽内の氷柱を写真3に示す。この氷柱の上部横断



12cm ϕ ×24cm

写真3 氷結槽内にできた氷柱

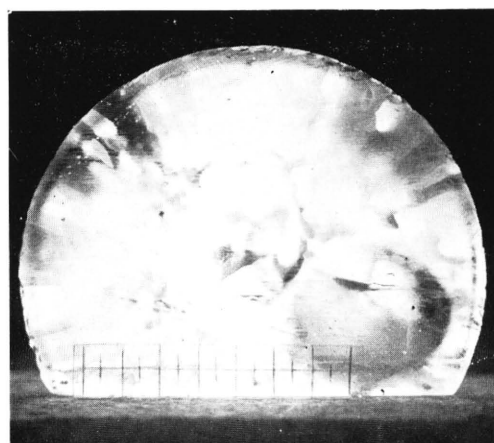


写真4 円柱状の氷の上部断面

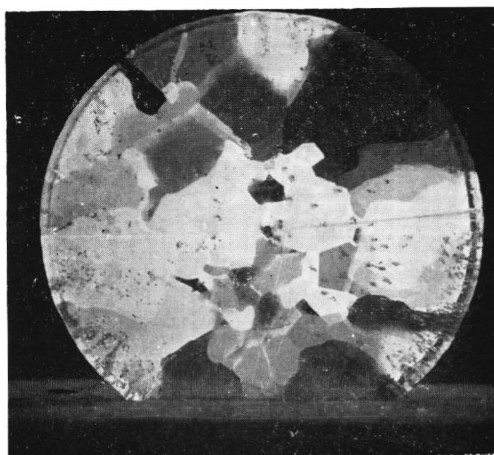


写真5 円柱状氷の下部断面

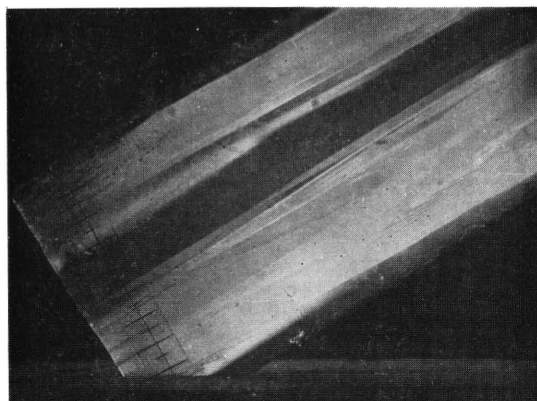


写真6 円柱状氷の側断面

面，下部横断面，および側断面をそれぞれ厚さ1 cm に切り取って，偏光を通して見た時の写真を写真4，5，6に示す。写真4では単結晶の一つ一つの大きさは直径約0.5 cm で，その中には c 軸の方向が氷柱の軸方向を向いているものも幾つかある。写真5では単結晶の大きさは直径1～2 cm で，3 cm に達するものもある。ここではすべて c 軸は，氷柱の半径方向の面内に含まれる。従ってつぎのことが言えそうである。氷結槽中で表面から氷結し始める際に微細な単結晶の集合ができ，その軸方向はいろいろで¹⁰⁾， c 軸が水面に垂直に向くものも含まれる。それらのうちで成長が優勢な結晶粒の方向だけが残って成長する。0 °C 付近では c 軸よりも a 軸が成長容易軸であるので¹¹⁾，氷が成長するに従って c 軸が水面に垂直な方向に向くものはなくなる。写真6でこのようすが見られる。このことから，氷の成長する単結晶ブロックが定まったところで，これをガラス管内に導いて成長させれば，

a 軸に長い単結晶が得られる。われわれは(1)の場合について長さ7 cm，一辺2 cmの単結晶を取り出すことができた。(2)の場合，ガラス管内には2個以上の単結晶ブロックができて結果は思わしくなかった。また(3)の場合は，ガラス管内に直径3 cm，長さ5 cmの単結晶を得ることができたが，残念ながらそれ以上の長さのものは得られなかった。

氷の単結晶を使って実験するには，いろいろな軸方向について，少くとも長さが10 cm 程度のものを必要とするので， c 軸が長軸となるような種結晶を吊るす方法を試みてみたがうまくゆかなかった。これについては種結晶の選び方，温度勾配の与え方について今後考察しなければならない。

この実験についていろいろと御援助を与えて下さった北大低温科学研究所の吉田順五所長，藤岡敏夫教授，ならびに本学教育学部の塚野善蔵教授に厚く感謝致します。

文 献

- 1) 東兎，金属物理 **7**，27，(1961)
- 2) 中谷宇吉郎，科学 **26** (No. 6)，272，(1956)
- 3) "，科学 **26** (No. 7)，346，(1956)
- 4) "，科学 **26** (No. 8)，401，(1956)
- 5) "，金属物理 **4**，89，(1958)
- 6) "，金属物理 **4**，133，(1958)
- 7) "，北極の水 (宝文館) (1958)
- 8) 若浜五郎，低温科学 物理篇 **17**，87 (1958)
- 9) 黒岩大助，金属物理 **8**，212，(1961)
- 10, 11) Charles A. Knight, Jour. appl. Phys., **37**, 568 (1966)

(昭和41年9月30日受理)